



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Digitalizace a zpracování dat z 3D scanneru Trimble CX

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Monika Filjačová**
Vedoucí práce: Ing. Radek Havlík



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Monika Filjačová**

Osobní číslo: **S17000161**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojní inženýrství**

Název tématu: **Digitalizace a zpracování dat z 3D scanneru Trimble CX**

Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem závěrečné práce je digitalizace a zpracování dat ze skeneru Trimble CX. Jedná se o digitalizaci kulturních památek či technických prostor či budov, včetně vybavení. Naskenovaná data ve formátu mračna bodů následně zpracovat a převést na 3D modely, které bude možné vytisknout na 3D tiskárně.

1. Seznámit se s vybavením a zařízením laboratoře potřebným k realizaci praktické části práce (3D bezkontaktní skener Trimble CX, SW Trimble Real Works, SW GOM Inspect apod.) a s principy optické digitalizace.
2. Provést rešerši digitalizace rozměrných objektů bezkontaktními metodami (laserová digitalizace, fotogrametrie, ..).
3. Provést digitalizaci objektu a úvodní zpracování dat.
5. Z naskenovaných dat vytvořit 3D model a ve vhodném měřítku vytisknout na 3D tiskárně.
6. Vyhodnocení výsledků, závěr.

Rozsah grafických prací: Dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 40
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] HLAVÁČ, V. a M. ČONKA. *Počítačové vidění*. Praha: Grada, 1992. ISBN 8085424-67-3.
- [2] GOM MbH. *Inspection: V8 Manual Basic*. Braunschweig (Germany): GOM MbH, 2014.
- [3] GOM MbH. *Atos V7 - Hardware: User manual*. Braunschweig (Germany): GOM MbH, 2010.
- [4] KŮRKA, P. *Tvorba digitálního prostorového modelu historické části města Louny*. Praha, 2005. Diplomová práce. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Obor geodézie a kartografie.
- [5] KOTEN, S. *Vytvoření zjednodušeného CAD modelu motoru s využitím reverzního inženýrství*. Brno, 2013. Bakalářská práce, Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství.

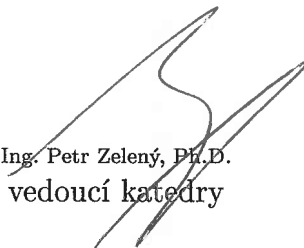
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radek Havlík
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání bakalářské práce: 1. listopadu 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 1. dubna 2019


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2017

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 4.1.2018

Podpis: Monika Fijarová

Poděkování

V první řadě bych ráda s úctou poděkovala panu Ing. Radkovi Havlíkovi za odborné vedení bakalářské práce, jeho hodnotné rady, připomínky a čas strávený na konzultacích.

Přísluší mi poděkovat také společnosti Geotronics Praha s.r.o. za umožnění účasti na Skenovacím dni a poskytnutí cenných podkladů pro tuto práci.

Dále bych chtěla poděkovat svým blízkým, především rodičům, za samotnou příležitost absolvování školy, jejich trpělivost a podporu během celého studia. Bez nich by tato práce nemohla vzniknout.

Děkuji.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na technologii 3D skenování rozměrných objektů. První část se zabývá popisem jednotlivých způsobů digitalizace, jejich výhodami a nevýhodami. Další část byla sepsána na základě účasti na Skenovacím dnu společnosti Geotronics Praha s.r.o. a obsahuje praktické informace o 3D skenování získané na této události. Poslední a nejdůležitější část popisuje postup skenování prostoru dílny SPŠSE a VOŠ Liberec zařízením Trimble CX a zpracováním digitalizovaných dat ve specializovaném programu Trimble RealWorks a následně v konstrukčním programu SolidWorks.

Klíčová slova

Digitalizace, 3D laserový skener, mračno bodů, Trimble CX, Trimble RealWorks

Abstract

Bachelor thesis is focused on the technology of 3D scanning of large objects. The first part deals with the description of individual digitalization methods, their advantages and disadvantages. Another part was written on the basis of participation on the scanning day of the company Geotronics Praha s.r.o. and contains practical information about the 3D scanning which was acquired on this event. The last and the most important part describes the procedure of scanning the workshop area of SPŠSE and VOŠ Liberec by the device Trimble CX and processing of digitized data in the specialized program Trimble RealWorks and then in the constructional program SolidWorks.

Key words

Digitalization, 3D laser scanner, cloud points, Trimble CX, Trimble RealWorks

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
1. Úvod	10
1.1. Cíl práce	10
2. Teoretická část.....	11
2.1. 3D digitalizace.....	11
2.2. Laserové skenování	12
2.3. Optické skenování	15
2.4. Rentgenové skenování.....	18
2.5. Ultrazvukové skenování.....	19
2.6. Fotogrammetrie	20
2.7. Vektorizace dat.....	22
3. Skenovací den firmy Geotronics Praha.....	24
3.1. Představení Geotronics Praha, s.r.o.....	24
3.2. Postup skenování.....	24
3.2.1. Výběr skeneru dle parametrů	24
3.2.2. Volba stanovišť	25
3.2.3. Vlastní skenování	25
3.2.4. Finální úprava.....	26
3.2.5. Možnosti využití 3D skenů.....	26
3.2.6. Softwary pro zpracování naskenovaných dat.....	27
3.2.7. Prakticky předvedené skenery	27
3.2.8. Příklady projektů řešených společnostmi Geotronics.....	28
4. Skenování dílny na SPŠSE Liberec.....	30
4.1. 3D Digitalizace	30
4.1.1. Popis skeneru Trimble CX a jeho příslušenství	30

4.1.2.	Technické parametry Trimble CX	31
4.1.3.	Příprava skenování.....	32
4.1.4.	Vlastní provedení	33
4.2.	Zpracování dat	34
4.2.1.	Popis softwaru Trimble RealWorks Survey Advanced.....	35
4.2.2.	Práce v softwaru Trimble RealWorks Survey Advanced	35
4.2.3.	Načtení a registrace pomocí vlíčovacích terčů	35
4.2.4.	Očištění mračen bodů.....	37
4.2.5.	Měření vzdálenosti	38
4.2.6.	Vektorizace	38
5.	Závěr	40
6.	Literatura	41
7.	Seznam obrázků	44

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	dvoudimenzionální - rovinný
3D	třidimenzionální – prostorový
CAD	Computer Aided Design – počítačová podpora konstrukce
CAM	Computer Aided Manufacturing – počítačová podpora výroby
CCD	Charge-Coupled Device – součástka pro snímání obrazové informace
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
RE	Reverse Engineering – zpětné inženýrství
SW	Software
TBC	Trimble Business Center – software pro zpracování mračen bodů
TRW	Trimble RealWorks – software pro zpracování mračen bodů
USB	Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice, moderní způsob připojení periférií k počítači

1. Úvod

Obvykle je obtížné nebo dokonce nemožné kontaktního stanovení prostorových souřadnic objektů. Bezdotykový obor 3D skenování byl vyvinut relativně nedávno, své využití našel rychle a to hned v několika oborech. Stále dochází k jeho vzestupu a zdokonalování. Pozitivem je nejen produktivita a přesnost. Skenování je možno realizovat i za nepříznivých podmínek, nezávisle na teplotě, vzdušné vlhkosti nebo např. prašnosti.

3D skenery s dlouhým dosahem snímání jsou vhodné k digitalizaci budov či jiných architektonických děl a rozměrných památek, případně výrobních hal včetně jejich interiérů. Dále je možné tuto technologii využít při zjišťování kubatur hald nebo naopak prostorů vzniklých těžbou.

Postupným skenováním vzniknou jednotlivá mračna bodů, jejichž rozsah bývá v řádu milionů bodů. Mračna bodů jsou pak dále zpracována. V některých případech vyhovuje práce s mračnem jako takovým (např. určení kubatur), jindy je nutné převést jej do formy ploch či solidů pomocí vhodné polygonové sítě. Tato data lze dále upravovat v CAD systémech.

1.1. Cíl práce

Cílem práce je digitalizovat rozměrný objekt, památkově významnou budovu či výrobní halu pomocí skeneru Trimble CX. Získaná data zpracovat a převést do formátu, který bude možné vytisknout na 3D tiskárně.

2. Teoretická část

2.1. 3D digitalizace

Pro 3D digitalizování, neboli trojrozměrné numerizování se používají elektronická zařízení nazývaná skenery, doslovně přeloženo: snímače. [2]

Rozvoj těchto přístrojů odstartoval po roce 1990 a na přední místo zájmu odborné veřejnosti pronikly kolem roku 2000. Tento postup určování 3D souřadnic zaujal především pro rychlost snímání a velké množství měřených prostorových bodů. Nejprve byl postup 3D skenování používán při leteckém snímání pro tvorbu modelu terénu a při pozemní aplikaci pro určování tvarů komplikovaných technologických zařízení. [12]

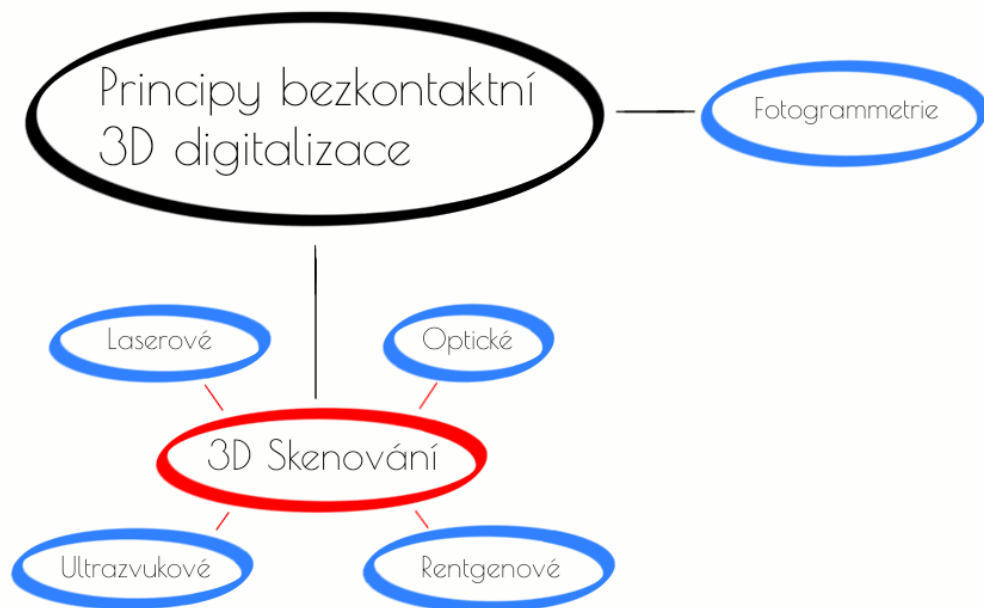
Digitalizace se provádí tak, že jsou postupně naskenovány prostorové souřadnice bodů viditelné části objektu, které jsou poté převedeny ve formě takzvaných mračen bodů do počítačové podoby. Je možno s nimi dále manipulovat a upravovat je v CAD/CAM systémech. Patří do oboru reverzní inženýrství. [2]

Reverzní inženýrství (RE)

Z anglického Reverse Engineering, jehož záměrem je odhalit princip fungování již existujícího systému za účelem zkonstruování systému shodně nebo podobně fungujícího. Tradičním inženýrským postupem se nejprve zhotoví model a výrobní výkres produktu a až poté dochází k jeho výrobě. Pomocí RE je nejprve digitalizován již existující výrobek, dále je možná jeho optimalizace a vylepšení, které je účinnější než tradiční aplikace. [1]

Nachází uplatnění v rozličných odvětvích lidské činnosti. Například ve strojírenství a kontrole, stavebnictví, zeměměřičství, lékařství atd.

Skenovací systémy můžeme dělit podle různých hledisek, např. na statické a kinematické. O statické skenovací systémy jde, pokud je skener umístěn na zemi. Pokud je však umístěn na pohyblivém tělese (auto, letadlo, ...) jedná se o kinematický skenovací systém. [13]



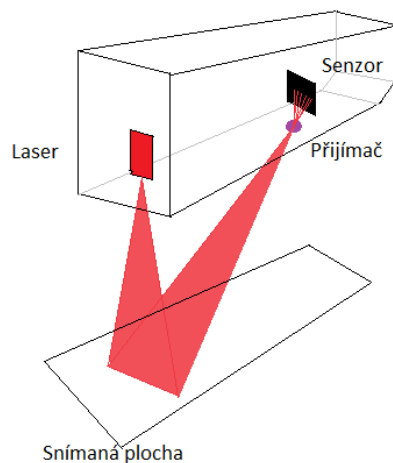
Obrázek 1 Principy bezkontaktní 3D digitalizace

2.2. Laserové skenování

3D laserové skenování je efektivní technologie pro získávání prostorových dat. Pomocí laserového skeneru přenášíme do počítače virtuální model reality s velmi malou odchylkou od skutečného tvaru snímaného objektu. Laser funguje pomocí stimulovaného vysílání viditelných fotonů. V laseru uloženými rovnoběžnými zrcadly dochází k zesílení toku fotonů. Vyhodnocením doby letu a úhlu, pod kterým se rozptýlený paprsek vrátil, software vypočítá vzdálenost, tvar a polohu objektu vzhledem k zařízení. Vznikne model ve formě mračna bodů určených prostorovými souřadnicemi, které s pomocí CAD systému filtrujeme na trojúhelníkovou síť. Kvalita výstupu je pak dána hustotou laserového pokrytí. Přesnost je od desetin až po tisíce milimetru.

Dělení skenerů:

- **Pulzní** skener vyšle paprsek a měří dobu, za kterou se paprsek vrátí.
- **Fázový** skener vysílá paprsky stále a při jejich návratu počítá fázový posun mezi nimi.



Obrázek 2 Princip laserového skenování

Další možnost dělení skenerů:

- **Kamerové** (vzdálené objekty)
- **Panoramatické** (interiéry)

Výhody:

- + nenáročnost na obsluhu
- + schopnost snímat složitější tvary povrchu
- + možnost rozpoznávat neprůchozí otvory

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena
- nemožnost snímat texturu a barvu povrchu

Snímání barvy lze docílit připojením snímače CCD/CMOS-fotoaparátu. Pokud fotoaparát nepřipojíme, získáme mračno bodů ve stupních šedé, které vypadá jako černobílá fotografie. Ne vždy je barevný snímek potřeba. [1], [2], [4]

Porovnání dvou vybraných laserových skenerů statických

Focus^{3D} X 330 je moderní 3D skener od firmy FARO. Díky velkému pracovnímu rozsahu a filtrům proti slunečnímu záření je vhodný pro venkovní skenování. Disponuje malými rozměry a relativně malou hmotností. [5]

Trimble TX8 je mobilní 3D skener od společnosti Trimble. Měření je velice jednoduché a účinné. Je optimální pro měření jakýchkoli dat v jakýchkoli podmínkách. Výstupní data jsou čistá, bez zbytečných šumů. [6]



Obrázek 3 Faro Focus3D X 330 [5]



Obrázek 4 Trimble TX8 [6]

	Faro Focus ^{3D} X 330	Trimble TX8
	fázový laserový skener	pulzní laserový skener
Hmotnost	5,2 kg	11 kg
Rozsah	0,6-330 m	0,6-340 m
Rychlost	976 000 bodů/s na 307 m	400 000 bodů/s na 340 m
Zorné pole	300°x360°	317°x360°

[5], [6]

Závěr srovnání: Zorné pole a rozsah obou skenerů je srovnatelný. Faro Focus^{3D} X 330 je oproti Trimble TX8 lehčí a rychlejší.

Příklad ručního laserového skeneru

Pro „úplnost“ je uveden příklad kompaktního, ručního skeneru Faro Freestyle^{3D}. Jedná se o ruční skener umožňující svižnou a jednoduchou manipulaci. Obsluha při provozu drží zařízení v ruce a snímá místa, na která skenerem zamíří. [6]



Obrázek 5 Faro Freestyle^{3D} [6]

Parametry:

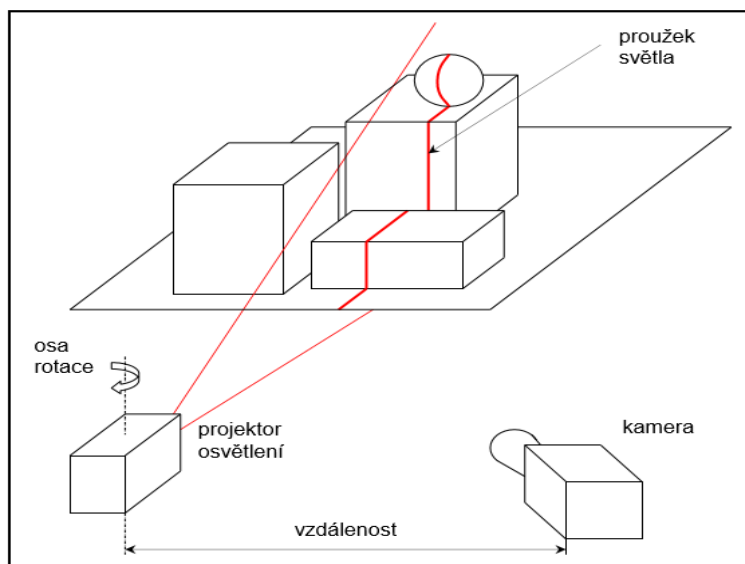
- Laser třídy 1 (= bezpečný i v případě dlouhodobého sledování svazku, navíc i s použitím optických pomůcek, jako lup nebo dalekohledů)
- Dosah 0,5-3 m
- Hmotnost 0,98 kg
- Napájení a ovládání z tabletu

[6]

2.3. Optické skenování

Optické skenování se provádí pomocí světelných proužků. Na snímáný povrch jsou promítány proužky světla, které jsou poté snímány pomocí jedné nebo více kamer umístěných mimo osu proužků. Jelikož je známa vzájemná poloha kamer, projektoru proužků a tvaru proužků, automaticky se velice přesně spočítají souřadnice mračna

osvětlených bodů. Objekt je třeba snímat z více pohledů, je proto nutné umístění referenčních bodů, aby bylo možné spojit jednotlivé souřadné systémy do jednoho, centrálního. Před samotným skenováním je dobré povrch objektu zmatnit, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. Tuto metodu používáme pro skenování málo členitých povrchů. [7], [2]



Obrázek 6 Princip optického skenování [7]

Výhody:

- + Vysoká rychlost skenování
- + Skenování textury povrchu
- + Objektivita

Nevýhody:

- Vysoká citlivost na světlo a nečistoty
- Nemožnost skenovat lesklé a číré povrchy bez předchozí úpravy
- Problematické skenování otvorů

Porovnání dvou vybraných optických skenerů

ATOS Triple Scan ATOS je mobilní bezdotykový optický 3D skener firmy GOM. Vyznačuje se vysokou výkonností a velkým rozlišením. Má velmi široké využití. Používá se například pro kontrolu kvality nebo skenování poškozených lisovacích forem. [8]

3D skener ATOM VT rozšiřuje řadu skenerů vývoje firmy Объемные технологии (Volume Technologies). Je určen spíše pro malé podniky a školy, které netrvají na maximálních technických schopnostech, ale vyžadují všestranný, jednoduchý a spolehlivý nástroj. [16]



Obrázek 7 ATOS II Triple Scan [8]



Obrázek 8 VT ATOM [16]

	ATOS II Triple Scan	VT ATOM
Plocha měření	1500 x 1130 mm ²	530x400 mm ²
Přesnost	0.02 mm	0,1% snímaného objektu
Vzdálenost od objektu	490-2000 mm	50-500 mm
Hmotnost	6,2 kg	2 kg

[8], [16]

Závěr srovnání: ATOS II Triple Scan je sice těžší, ale je přesnější, snímá větší plochu objektu a umožňuje skenovat větší objekty oproti 3D skeneru ATOM VT.

2.4. Rentgenové skenování

Rentgenové skenování funguje na principu rentgenového záření, stejně jako klasické rentgeny ve zdravotnictví. Oproti klasickým rentgenům má mnohem větší intenzitu záření. Používá se především pro zkoumání vnitřní geometrie. Tato technologie se občas zaměřuje s defektoskopií. Ta je též založená na rentgenovém záření, ale jedná se „pouze“ o způsob kontroly. [1,10]

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou $\lambda = 10^{-12}$ až 10^{-8} m, což je více než 1000x méně než vlnová délka viditelného světla. Má velkou energii a také pronikavost. Nazývá se podle objevitele, německého vědce Wilhelma Conrada Röntgena. [10]

Zdrojem záření je elektronka, zvaná také rentgenka, což je skleněná trubice, ve které je vakuum. V trubici je katoda, tvořená wolframovým vláknem a wolframová anoda. Ze záporné katody tryskají elektrony směrem ke kladné anodě. Při dopadu se většina energie mění na teplo a jen mizivá část, cca 1% na rentgenové záření.[10]



Obrázek 9 Rentgenka [10]

Výhody:

- + Přístroje jsou většinou mobilní
- + Je možné snímat vnitřní strukturu objektů

Nevýhody:

- Nelze zachytit barvu objektu

Příklad rentgenového skeneru

Jako příklad je uveden skener PreXion3D Excelsior CBCT Scanner, využívaný v medicíně, konkrétně pro 3D skenování zubů a čelistí skrz spodní část obličeje. Díky tomu lze vyrobit optimální implantát včetně jeho uchycení do kosti. Nevýhodou je ovšem rentgenové ozáření. [17]



Obrázek 10 Pre PreXion3D Excelsior CBCT Scanner [17]

2.5. Ultrazvukové skenování

„Ultrazvuk je zvukové vlnění s frekvencí větší než 16kHz a je tedy pro lidské ucho neslyšitelný. Jeho vlnová délka je menší než vlnová délka zvuku, proto je šíření ultrazvuku méně ovlivněno ohybem. Výrazný je ale jeho odraz od překážek a skutečnost, že je méně pohlcován v kapalinách a pevných látkách.“ [11]

Ultrazvukové skenování je založeno na principu snímání povrchu objektu pomocí ultrazvukové sondy. Ultrazvukové vlny jsou vysílány sondou tvaru pistole s kovovým hrotem stisknutím spouště. Tento signál se analyzuje prostřednictvím ultrazvukových čidel do prostorových souřadnic, které je možné vkládat do CAD softwarů. [1]

Výhody:

- + Nízká pořizovací cena

Nevýhody:

- Malá přesnost (0,3 – 0,5 mm)

2.6. Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je nejstarší metodou získávání prostorových souřadnic bodů. [12] Za jejího zakladatele můžeme považovat Leonarda da Vinciho. Označení vzniklo sloučením latinských slov *photos*-světlo, *gramma*-záznam a *metron*-měřit. [14]

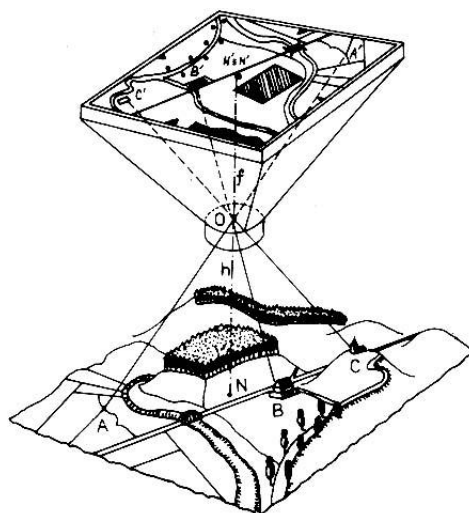
Jedná se o princip zpracování souřadnic snímaných objektů pomocí fotografií. Fotografie vzniká ve středovém promítání, které se dále převádí do promítání pravoúhlého. [14]

Fotogrammetrii dělíme na leteckou a pozemní, dále podle počtu pořízených fotografií na **jednosnímkovou** a **vícesnímkovou**. [15]

Jednosnímková fotogrammetrie se používá při skenování převážně rovinných předmětů. Pořídíme pouze jednu fotografii a získáme tak 2D souřadnice objektu. [15]

Vícesnímková fotogrammetrie se používá při skenování 3D objektů. Pořídíme, jak už název napovídá, dva a více snímků předmětu a jejich prolínáním vzniknou prostorové souřadnice. [15]

Pro pořízení těchto dat se v dnešní době používají digitální fotogrammetrické stanice, které pracují s digitálním obrazem. K prolínání obrazu dochází v počítači těchto přístrojů. K měření souřadnic se používají matematické výpočty. [15]



Obrázek 11-Příklad fotogrammetrie [15]

Příklady zařízení pro fotogrammetrii

Jako příklady přístrojů využívaných pro fotogrammetrii jsou uvedena dvě zajímavá zařízení – kombinace fotoaparátu a bezpilotního letounu - dronu.

Prvním je Trimble UX5, bezpilotní letoun vybavený 16.1 MPx snímačem bez zrcadlovky APS-C s 15 mm čočkou, schopný létat pomaleji a níže než klasická letadla, což umožňuje pořizovat kvalitnější snímky. [6]

Druhým příkladem je Trimble ZX5 Hexakoptéra z karbonového rámu, vybavená 16 Mpx kamerou, která je schopna pracovat i uvnitř budov a v úzkém prostoru. Umožňuje také náhled videa v reálném čase. [6]



Obrázek 13 Trimble UX5 [6]



Obrázek 12 Trimble ZX5 Hexakoptéra [6]

2.7. Vektorizace dat

Pro většinu dalších aplikací skenů je třeba mračno bodů po registraci, případném georeferencování a očištění od nežádoucích bodů (popsáno v kapitole 4.2.) převést do formy vektorů – vektorizovat.

Vektorizaci je možno provádět přímo v software pro zpracování mračna bodů, v tomto případě v **Trimble RealWorks**. Lze to provést dvěma způsoby a to automaticky nebo poloautomaticky.

Při **automatické triangulaci** je třeba manuálně vybrat pouze část mračna, určenou pro vektorizaci v režimu *Mesh Creation Tool* pomocí nástroje *Segmentation Tool* ve dvou pohledech. Dále pomocí *Plane-Based Projection* lze vybrat rovinu mračna a příkazem *Preview Meshes* se zobrazí trojúhelníková síť. V horní obrázkové liště je možné měnit zobrazení z *Wireframe* (drátového) na *Surface* (plošné). Takto upravený model lze exportovat ve formátu „.dxf“, „.stl“.

Při **poloautomatické triangulaci** je možné aproximovat a „extrudovat“ pomocí známých tvarů (kruh-válec, obdélník-kvádr, písmeno H-I profil). Výběrem módu *Modeling*, příkazem *Plant/SteelWorks Creator Tool* se vlevo otevře lišta. Nejprve je třeba vybrat část mračna s požadovaným tvarem a co nejmenšími okraji. Poté z palety zvolit tvar proložení a jeho tažením kopírovat skutečný tvar aproximovat a následně potvrdit. Dále zvolit požadovanou délku „extrudu“ a příkazem *Create* potvrdit ještě jednou. Takto vektorizovaný výsledek lze v případě více totožných objektů (např. sloupů v místnosti) dále „paternovat“ pomocí *Modeling/Duplicator Tool*.

Dále je možné vektorizovat v klasických konstrukčních programech, jako např. **SolidWorks**.

To lze **automaticky** po načtení mračna bodů ve stromě pomocí příkazu *Point Cloud/Mesh Prep Wizard*, po vyskočení panelu *Mesh Prep Wizard* vlevo namísto stromu zatržením možnosti *Automatic* a potvrzením pomocí tlačítka „dále“. Takto polygonizovaná data lze ještě dále upravovat.

Další možností je vektorizaci provést **manuálně**. Nejprve vložíme referenční roviny a poté skicou kopírujeme naskenovaná a načtená mračna bodů a pokračujeme jako při klasickém konstruování příkazy jako „extrude“ nebo „revolve“.

Specializovaný software pro úpravu mračen bodů a optimalizaci polygonálního modelu je **GOM Inspect**. Jedná se o prvotřídní program svého druhu a jeho další nespornou výhodou je skutečnost, že pro nekomerční využití je k dispozici ke stažení zdarma.

Importovat lze data jako *CAD* model, která se nedají editovat nebo jako *Mesh*, která jsou editovatelná.

Po načtení modelu v programu je třeba zvolit jako typ přeneseného modelu *Mesh*, kvůli editaci. První úpravou bývá redukce rozlišení. Dále pomocí *Ctrl+Del* odstraníme separované díly. Poté ještě vybereme a oddělíme nechtěné části sítě, okolí, které nemáme v úmyslu dále zpracovat.

Dalším nástrojem pro úpravu je *Eliminate Mesh Errors*, který maže redundantní data a defektní polygony. Redundantními daty jsou různě zdvojené plochy nebo plochy o reálně nulové velikosti. Jejich odstraněním se zmenší objem dat. Mezi defekty sítě patří společné hrany pro dva nebo více polygonů nebo např. navzájem se protínající polygony. Defektní polygony mohou znesnadňovat ostatní úpravy sítě. Odstraněním obojího druhu závad se docílí výběrem modelu a následným *Operations/Mesh/Eliminate Mesh Errors*. Důležitým nástrojem programu je vyplňování děr vzniklých nedokonalostí *Meshe*. To lze provést částečně automaticky nástrojem *Close Holes: Operations/Mesh/Close Holes/Automatically* s nastavením rozumné maximální velikosti uzavíraných děr. Manuálně se poté upraví nastavení podle tvaru a velikosti díry. Velké otvory se doporučují zakrýt polygonálním můstkem. Takto upravený model lze exportovat jako formát „.stl“.

[22], [23]

3. Skenovací den firmy Geotronics Praha

Ve snaze získat další informace jsem se dne 4. 5. 2017 na doporučení vedoucího práce, pana Ing. Radka Havlíka zúčastnila Skenovacího dne v Novém Městě na Moravě. Akce společnosti **Geotronics Praha, s.r.o.** Dozvěděla jsem se spoustu cenných údajů. Ty, o kterých si myslím, že jsou nejpřínosnější, uvádím níže.

3.1. Představení Geotronics Praha, s.r.o.

- 22 let na českém trhu
- Obchodní společnost – prodej, servis, školení/poradenství
- Autorizovaný distributor 3D skenerů, především od výrobců Trimble a Faro

3.2. Postup skenování

3.2.1. Výběr skeneru dle parametrů

- Hustota bodů
- Dosah
 - Na výběr je z celé škály skenerů s různými dosahy
 - Skenery s extra dlouhým dosahem - mohou mít dosah až 4 km
- Délková přesnost
- Kvalita skenování
- Doba skenování
 - Souvisí s předchozími body - závisí na rychlosti x kvalitě
- Šum
- Velikost a hmotnost skeneru
 - Velký skener se vyznačuje vysokou stabilitou
 - Malý kompaktní skener se vyznačuje snadnou manipulací a hodí se spíše do těžko přístupných míst
- Stacionární x mobilní skenery
- Fotografie skenování - ano/ne

3.2.2. Volba stanovišť

- Je nezbytné vidět všechny podrobnosti objektu
- Data poté musí jít propojit – je proto nutné naskenovat z dostatečného počtu stanovišť a s dostatečným množstvím vlíčovacích bodů
- Jejich vzdálenosti jsou závislé na typu projektu

3.2.3. Vlastní skenování

- Bez použití vlíčovacích bodů – pozdější propojení skenů pomocí známých hran
- S použitím pomocných zaměřovacích bodů uměle umístěných ve skenovacím prostoru



Obrázek 14 Vlícovací koule [6]



Obrázek 15 Deskové terče [6]

- Jako tyto „body“ mohou být použity vlíčovací koule nebo deskové terče
- Uložena jsou jednotlivá stanoviiska jako mračna bodů. Ve stupních šedé - dle odrazivosti materiálů, nebo obarvená pomocí fotografie.
- Rychlost skenování závisí na velikosti snímaného objektu, době strávené na stanovišti x kvalitě dat a počtu stanovišť.

3.2.4. Finální úprava

- Registrace = propojení jednotlivých skenů
 - Automatická registrace
 - Vlícovací body (koule, terče)
 - Na plochy
 - Manuální registrace
 - Vlícovací body (koule, terče, podrobné body-např. rohy předmětů)
 - „Cloud-to-cloud“
- Georeferencování = transformace do souřadnicového systému
- Očištění od nežádoucích předmětů a vegetace, oříznutí nepotřebných naskenovaných prostorů a zjednodušení mračna
 - Segmentace – manuální výběr části mračna, které je třeba odstranit (strom, louka)
 - Filtrování – náhodné

3.2.5. Možnosti využití 3D skenů

- Pasportizace budov (zjištění a zaznamenání jejich technického stavu)

Skener je třeba spustit v každé místnosti, v jejím středu i ve dveřích. Důležité je zajistit překryt jednotlivých stanovišť a sejmut všechna zákoutí.

Výsledkem je mračno bodů, kterým se dá „procházet“. Pro další zpracování dat je obvykle třeba jeho následná vektorizace.
- BIM – informační (digitální) model budovy
- Reverzní inženýrství
- Modely terénu a kubatury – jako první příklad bylo uvedeno zjišťování množství uhlí ve skládce, jako druhý příklad skenování podzemní šachty („studny“) a následné stanovení objemu materiálu potřebného k jejímu zasypání
- Povrchy komunikace
- Fasády budov
- 3D modely objektů



Obrázek 16 Přednášková část skenovacího dne
[Geotronics property]



Obrázek 17 Přednášková část Skenovacího dne
[Geotronics property]

3.2.6. Softwary pro zpracování naskenovaných dat

- TBC Trimble Business Center
 - Base
 - Complete
 - Advanced
 - Scanning
- FARO Scene
- Trimble RealWorks
 - Z jakéhokoli skeneru Trimble/Faro
 - Registrace, georeferencování
 - Očištění a filtrování mračna
 - Tvorba řezů a jejich vektorizace
 - Base
 - Advanced
- Trimble Edge Wise
- Trimble SketchUp

3.2.7. Prakticky předvedené skenery

Výkladová a diskuzní část programu byla doplněna představením jednotlivých 3D skenerů. Konkrétně:

Trimble TX5, Trimble TX8, Skenovací totální stanice Trimble SX10

FARO Focus^M 70; FARO Laser Scanner Focus^{3D} X 130; FARO Focus^S 150;
FARO Laser Scanner Focus^{3D} X 330; FARO Focus^S 350; ruční FARO Scanner
Freestyle^{3D}



**Obrázek 19 Ukázková část skenovacího dne
[Geotronics property]**



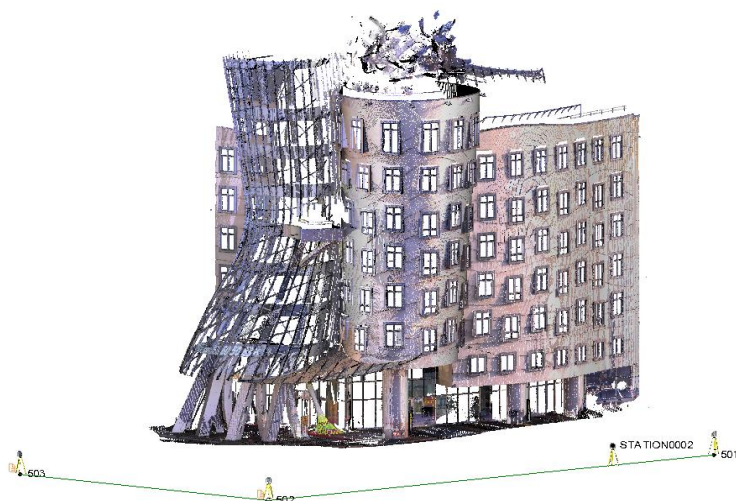
**Obrázek 18 Ukázková část skenovacího dne
[Geotronics property]**

Vzhledem k příznivému počasí bylo možné některé z nich předvést během workshopu přímo při práci v exteriéru.

3.2.8. Příklady projektů řešených společností Geotronics

Dále byly prezentovány zajímavé projekty, na kterých technici z Geotronicsu pracovali.

Jedním z atraktivních zadání bylo zaměření fasády Tančícího domu o prostoru 36 m x 22m x 35m zařazením Trimble SX10 a to ze čtyř stanovišť.



Obrázek 20 Sken Tančícího domu [Geotronics property]

Dalším zajímavým projektem byla digitalizace interiéru i exteriéru kostela. Provedena byla z 23 stanovišť. Kvalitní naskenování všech vnějších pasáží z povrchu země nebylo možné (sousední budova, horizont a zděný plot), proto byla aplikována průseková fotogrammetrie ze snímků z dronu.



Obrázek 21 Kostel-mračno bodů ze statického skeneru [Geotronics property]



Obrázek 22 Kostel-mračno bodů z dronu [Geotronics property]

Následně byla obě mračna bodů propojena a výsledkem jsou perfektní data.



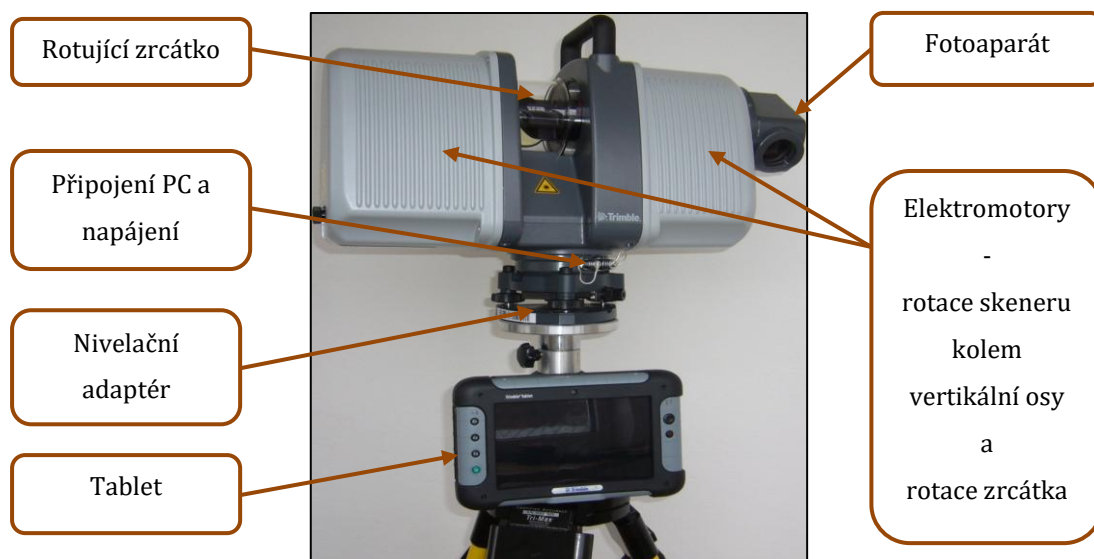
Obrázek 23 Kostel-sjednocená data [Geotronics property]

4. Skenování dílny na SPŠSE Liberec

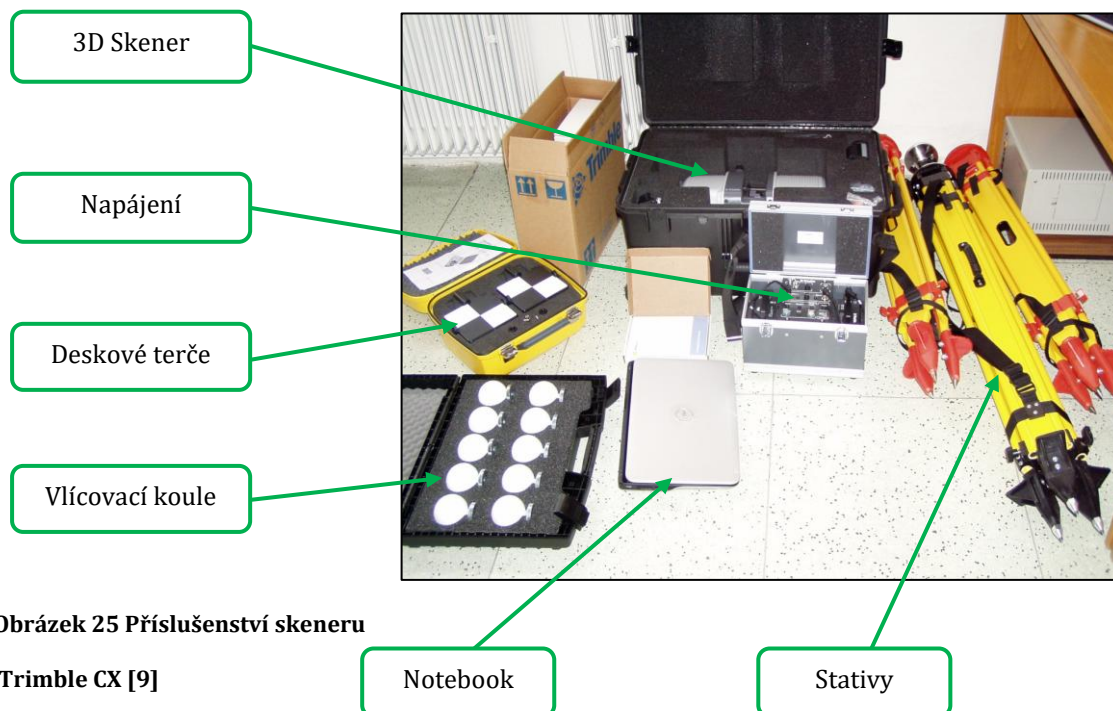
S panem Ing. Radkem Havlíkem jsme provedli praktické skenování prostoru obráběcí dílny na SPŠSE a VOŠ Liberec, dle zadání práce. Použili jsme univerzitní skener Trimble CX.

4.1. 3D Digitalizace

4.1.1. Popis skeneru Trimble CX a jeho příslušenství



Obrázek 24 Popis skeneru Trimble CX [9]



Obrázek 25 Příslušenství skeneru Trimble CX [9]

4.1.2. Technické parametry Trimble CX

- Princip: „WAVEPULSE Technology“ Kombinace pulzní (time-of-flight) i fázové (phase shift) metody
- Skenovací rozsah: 360° x 300°
- Rychlost skenování: 54 000 bodů za sekundu
- Maximální rozlišení: 0,002°
- Dosah: 1,2-80 m
až 80m na plochu s 90% odrazivostí
až 50m na plochu s 50% odrazivostí
- Směrodatná odchylka: 1 mm ≤ 30 m; 1,25mm ≤ 50 m; 1,8 mm ≤ 80 m
- Přesnost jednoho bodu:
 - v poloze 4,5 mm / 30 m; 3,7 mm / 50m
 - v délce 1,2 mm / 30 m; 2 mm / 50m
 - v horizontálním úhlu 15“
 - ve vertikálním úhlu 25“
- Horizontace krabicová libela v trojnožce: 8'; dvouosý kompenzátor
- Přenos dat USB, Ethernet
- Digitální zobrazení integrované barevné video v reálném čase
- Rozměry: 120 x 520 x 355 mm
- Hmotnost: 12,6 kg
- Napájení Integrovaná jednotka AC 90-240 V; 50-60 Hz; DC 24 V
- Spotřeba energie 50 W
- Provozní teplota 0-40°C

[9], [20]

4.1.3. Příprava skenování

Nejprve je nutné rozvržení umístění jednotlivých **skenovacích stanovišť**. Pro pozdější usnadnění registrace (propojení) mračen je možné předem umístit tři stativy, z nichž dva budou sloužit jako reference, případně umístit lícovací body.

Deskové terče jsou přesné, a jednotlivé skeny jimi lze automaticky registrovat. **Vlícovací koule** se používají spíše pro menší objekty (do 2 x 3 m), propojení skenů se díky nim usnadní – není třeba určit totožné body ve třech souřadných osách, pouze označit tutéž vlícovací kouli v jednotlivých skenech. Při skenování bez vlícovacích bodů propojujeme pomocí známých hran. Byl zvolen první jmenovaný způsob.

Dále byla zvolena vhodná délka nastavitelných nohou stativu a **stativ** byl vycentrován tak, aby byl stabilní. Na něj byl umístěn skener a poté uzamčen blokovací pákou. Pomocí krabicové libely a tří nastavovacích šroubů jsme jej umístili do vodorovné polohy. Skener byl zapojen do napájecí skříně, do které byl zapojen také tablet. Tablet slouží k ovládání systému.



Obrázek 27 Nivelace



Obrázek 26 Zapojení do zdroje

Následně jsme zapnuli napájení skeneru. Zapnut byl i ovládací tablet a po rozsvícení zeleného tlačítka „ready“ na napájecí skříně jsme v tabletu uvedli do chodu skenovací software Trimble Access Spatial Imaging a nastavili parametry skenování. Skener se nejprve otočil o 360° ve vertikální ose a zobrazila se chyba, se kterou byl nivelačně vyrovnan a software ji zahrne do výpočtů.

4.1.4. Vlastní provedení

Nejprve bylo na tabletu zadáno, zda budeme skenovat pomocí vlíčovacích koulí či terčů nebo se obejdeme bez nich. Zvolena byla tedy varianta s deskovými terči.

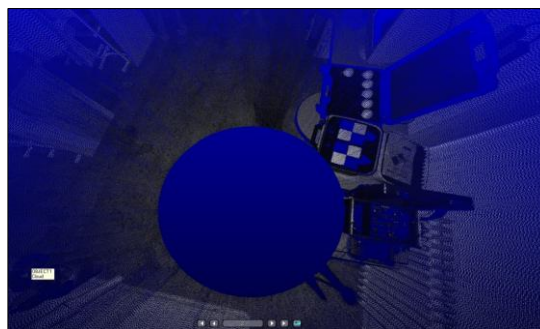
Poté jsme definovali název stanoviště a zadali, zda chceme snímat „full“ nebo „part“ scan.

V případě „**full scan**“ skener snímá prostor v rámci celého svého rozsahu – $360^{\circ} \times 300^{\circ}$. Je nutno nastavit přesnost a kvalitu skenování. S naší nastavenou přesností 0.02 m na 10 m software spočítal čas skenování na 2min 35s a počet sejmutých bodů přibližně 4,1mil. S přibližně stejným časem, který je potřeba na skenování samotné, je dále třeba předpokládat pro zpracování dat v softwaru.

V případě „**part scan**“ je snímán tvar obdélníku a je tedy nejprve třeba na tabletu vyznačit počáteční a k němu úhlopříčně koncový bod skenování. Přesnost skenování u „part scan“ požadujeme zpravidla vyšší, nastavili jsme 0,005 m na 4 m. U „part scan“ je možné zvolit snímání včetně **fotografií**, pro obarvení mračna bodů.



Obrázek 29 Trimble Access Spatial Imaging



Obrázek 28 Slepý úhel pod skenerem [9]

Zadali jsme nejprve „full“ a následně „part“ scan v jedné pozici skeneru, přístroj si sám propojil přesnější mrak bodů z „part scan“ s hrubším mrakem pořízeným pomocí „full scan“. Vzniklo tedy mračno bodů, jehož požadovaná část byla podstatně bohatší a vyfotografovaná, pro pozdější možnost obarvení.

Při samotném skenování rotuje zrcátko uprostřed přístroje kolem své horizontální osy a vysílaný laserový paprsek tím rozptýlí v rozsahu 300°, rychlostí 20 ms na jeden vertikální sken. Současně probíhá rotace kolem vertikální osy skeneru v rozsahu 360°.

Osoby přítomné skenování by se do vysílaného paprsku neměli dívat.

Po dokončení procesu skenování jsme si na displeji tabletu prohlédli jeho výsledek.

Skener nedokáže zpracovat data z průhledných a odrazových materiálů.



Obrázek 31 Nastavení parametrů



Obrázek 30 Skenování

Skener jsme poté přesunuli na další, předem promyšlená stanoviště a celý proces jsme dvakrát zopakovali, pro naskenování všech úseků místnosti.

4.2. Zpracování dat

Dalším nutným úkonem je zpracování získaných dat. Bez potřebné úpravy (sama o sobě) nám většinou nic nepoví. Zpracování bylo provedeno v softwaru Trimble RealWorks Survey Advanced (TRW).

4.2.1. Popis softwaru Trimble RealWorks Survey Advanced

TRW je specializovaný software pro techniky a zeměměřiče, který umožňuje práci s daty ve formě mračen bodů. Je možné v něm zpracovávat data z jakéhokoli skeneru od libovolného výrobce. Jde o plnohodnotný program, který je schopný registrovat a georeferencovat mračna bodů, očistit a filtrovat je, tvořit řezy, převádět do vektorů...

Zahrnuje sérii efektivních funkcí a pomocných nástrojů, využívaných především v oblastech jako zeměměřičství nebo stavařství. Umožňuje také převod dat do 2D a 3D formátů, se kterými je dále možno pracovat v běžných konstrukčních programech, jako např. Solid Works. V těchto systémech je s daty možno dále manipulovat, tisknout nebo částečně editovat. [19]

4.2.2. Práce v softwaru Trimble RealWorks Survey Advanced

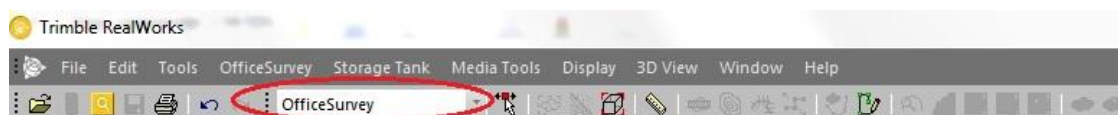
Složka souborů s daty z každé jednotlivé pozice skeneru má formát „.rwi“. Obsahuje informace o stanovišti, fotografiích a jednotlivých mračnecích bodů. Mračna bodů jsou ve formátu „.rwp“ (RealWorks Projekt), fotografie „.rwv“.

Software má tři základní módy:

Registration slouží k načtení a registraci dat

OfficeSurvey slouží k zpracování dat

Modeling je určen k zpracování mračen bodů aproximací známými tvary (kruh-válec, obdélník-kvádr)

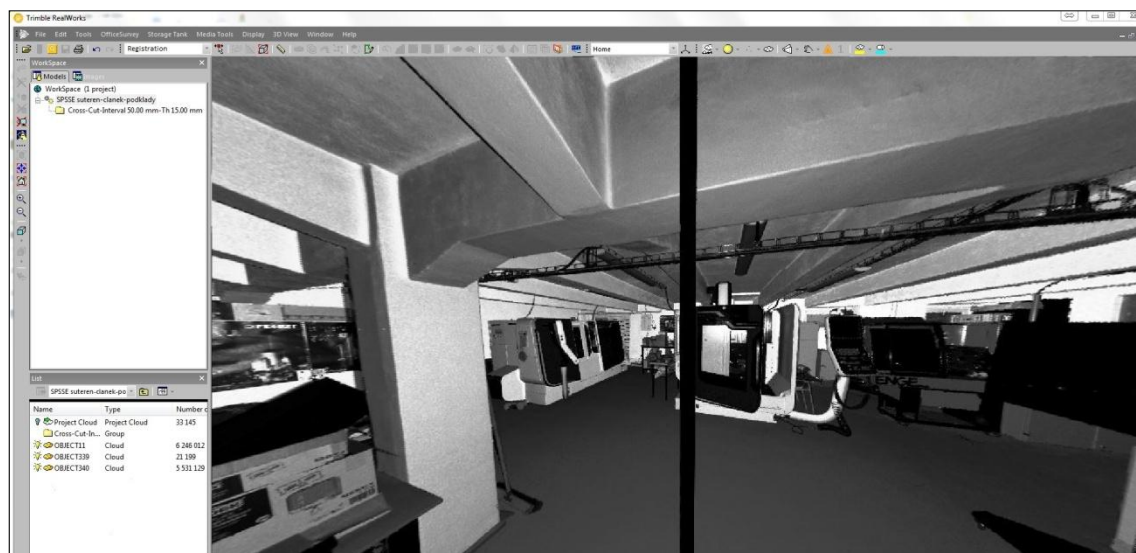


Obrázek 32 Výběr módu v TRW

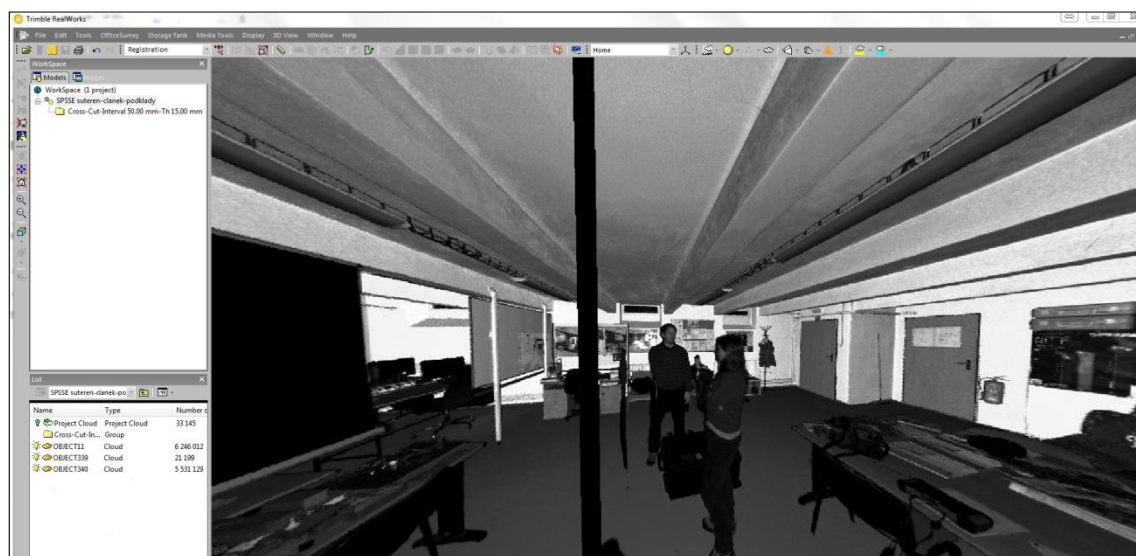
4.2.3. Načtení a registrace pomocí vlíčovacích terčů

Registrace, čili propojení mračen z jednotlivých skenů byla provedena pomocí vlíčovacích terčů - automaticky.

Počáteční data byla nejprve načtena do TRW v módu *Registration* pomocí příkazu *Registration* (na horní příkazové liště vpravo)/*Auto-register using Planes (Target-less)* se zobrazilo dialogové okno, ve kterém byla vybrána *Reference station* a zaškrtnuta možnost *Generate a Preview Scan*.



Obrázek 33 Načtená mračka bodů (1)

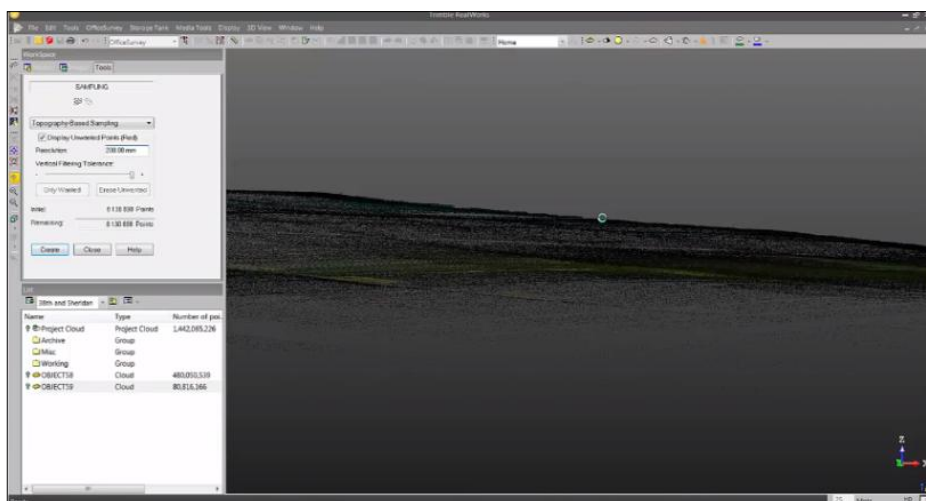


Obrázek 34 Načtená mračka bodů (2)

4.2.4. Očištění mračen bodů

Dalším krokem je očištění mračen bodů od nežádoucího šumu, v tomto případě osob, technického vybavení a dalších předmětů v interiéru místnosti. Očištění bylo provedeno segmentací - manuálně.

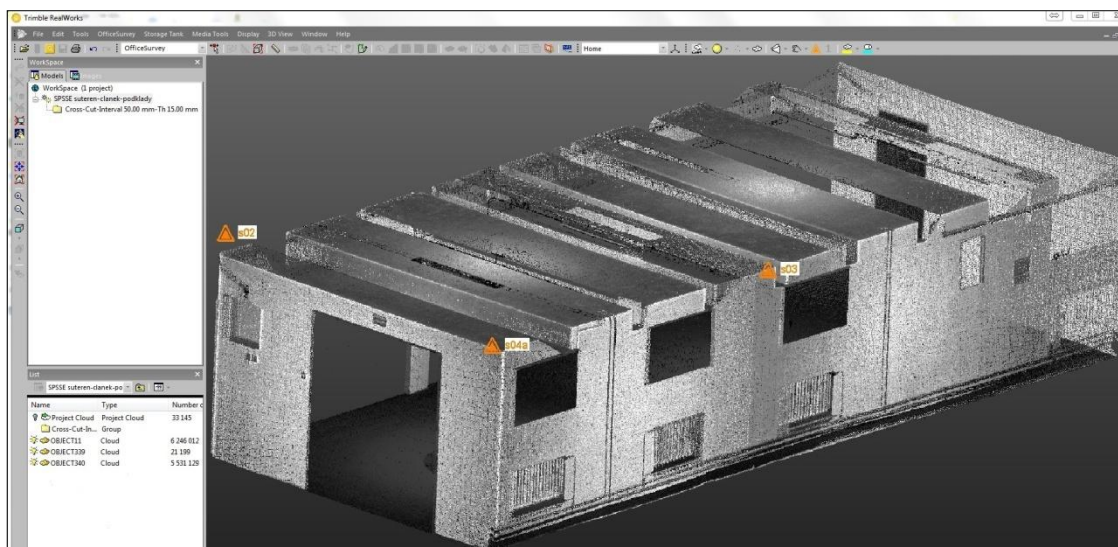
Nejprve byl v módu *Office Survey* ve vodorovné ose vybrán úsek mračna, který je třeba očistit a to pomocí příkazu *Segmentation Tool*. Takto byl vymezen polygon pro selekci. Pomocí funkce *Sampling Tool* byly vybrány nechtěné body a odstraněny pomocí příkazu *Erase Unwanted*. Po uložení takto očištěných mračen je ještě nutné propojit je s původními daty a to funkcí *Edit/Merge Clouds*.



Obrázek 35 Očištění mračna bodů

Mračno bodů je dále možné obarvit dle fotografií. V tomto případě to nebylo nutné provést.

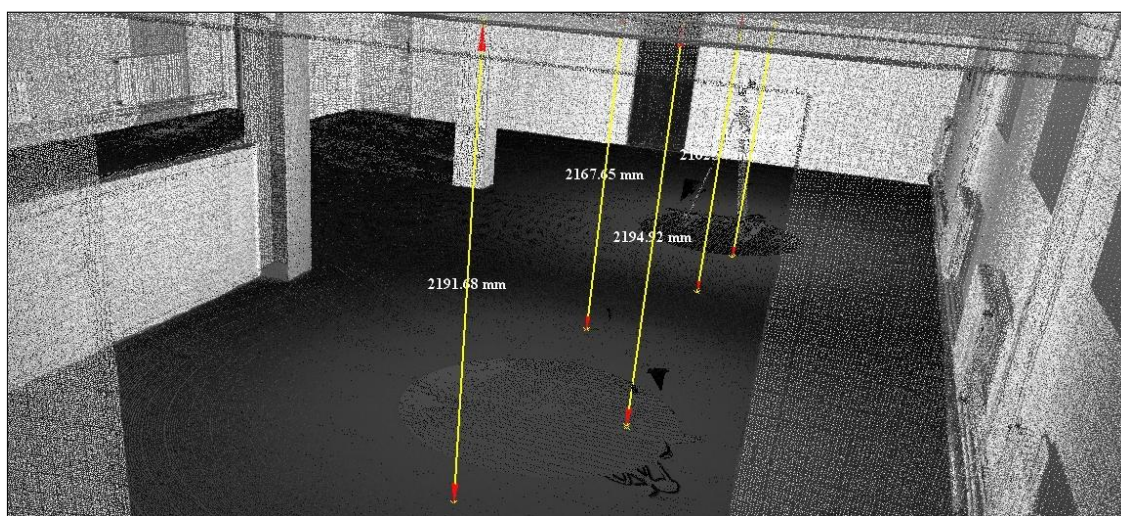
Podobně tomu bylo s georeferencováním. To se provádí v případě úmyslu pozdějšího začlenění do modelu terénu vzhledem ke světovým stranám. Je k němu zapotřebí tzv. identických bodů, které udají obrazové a zeměpisné souřadnice.



Obrázek 36 Registrované a očištěné mračno bodů

4.2.5. Měření vzdálenosti

Program mimo jiné umožňuje měřit horizontální, vertikální nebo obecnou vzdálenost dvou vybraných bodů, která ověřila nerovnost podlahy místnosti.

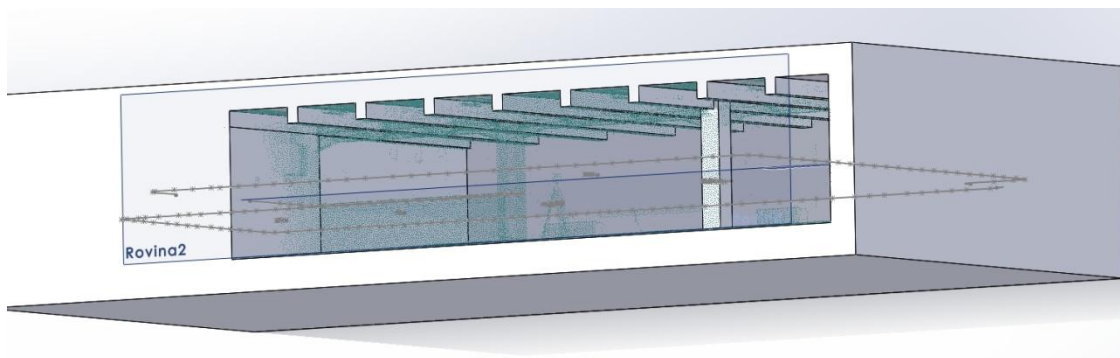


Obrázek 37 Distance measure

4.2.6. Vektorizace

Pro potřeby 3D tisku modelů v měřítku používaném pro takto rozměrné objekty (např. 1:100 nebo 1:200) postačuje automatická triangulace, kterou lze provést v TRW. Nedokonalosti vzniklé nepřesností aproximace jsou natolik nepatrné, že se na kvalitě vtištěného 3D modelu neprojeví.

Vektorizace byla provedena manuálně v softwaru SolidWorks proložením rovinami, aproximací mračen skicou a příkazy Extruded Boss/Base.



Obrázek 38 Vektorizace v SW SolidWorks

5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo digitalizovat rozměrný objekt, historickou budovu či průmyslovou halu zařízením Trimble CX a tato data zpracovat pro potřeby 3D tisku.

V teoretické části práce jsou vysvětleny principy jednotlivých způsobů 3D skenování a fotogrammetrie. Uvedeny jsou jejich výhody a nevýhody, případně představeny příklady konkrétních skenerů.

Další kapitola vychází z informací získaných na Skenovacím dnu, události podniku Geotronics a.s., který se zabývá distribucí, podporou a servisem 3D skenerů. Vysvětlen je zde postup skenování od výběru vhodného zařízení až po finální úpravu a konkrétní aplikace využití 3D skenů.

V hlavní části je nejprve charakterizován skener Trimble CX a poté popsán průběh celého skenování dílny SPŠSE a VOŠ Liberec. Dále je stručně charakterizován software Trimble RealWorks a vysvětlen postup, jakým bylo pořízené mračno bodů upraveno. Na závěr je uvedena finální fáze manuální vektorizace v programu Solid Works.

Splněny byly téměř všechny body zadání od seznámení se s vybavením laboratoře, přes vypracování rešerše, digitalizaci dílny až po zpracování dat. Vytisknutí modelu na 3D tiskárně uskutečněno nebylo. Po konzultaci s vedoucím práce bylo zhodnoceno, že námi naskenovaný objekt má příliš jednoduché tvary a jeho 3D tisk by byl takřka bezvýznamný. Pro demonstraci byl vytisknut kostel digitalizovaný společností Geotronics s.r.o. o kterém je psáno v kapitole 3.2.8.

Díky zpracování bakalářské práce jsem si vyzkoušela práci s 3D skenerem a seznámila se s programy pro zpracování takto pořízených dat. Ovládání skeneru je díky tabletu a programu Trimble Access vcelku snadné a intuitivní. Nejtěžší fází bylo asi umístění stativu do stabilní, vodorovné polohy.

Dále jsem pochopila princip tohoto zařízení a částečně také přínos 3D skenerů pro moderní vědu a průmysl. Technologie 3D skenerů, podobně jako 3D tiskáren a dronů, nás ve větší míře teprve čeká.

6. Literatura

- [1] HAVEL, Zbyněk: *Využití reverzního inženýrství ve strojírenské technologii*, UTB ve Zlíně, Ústav výrobního inženýrství, 2014, [online] [cit. 16.9.2016],
Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28490/havel_2014_dp.pdf?sequence=1
- [2] JANEČKA, Karel: *Digitalizace výfukového potrubí*, VUT v Brně, Ústav konstruování, 2009, [online] [cit. 16.9.2016],
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15581
- [3] KOTEN, Stanislav: *Vytvoření zjednodušeného CAD modelu motoru s využitím reverzního inženýrství*, 2013, [online] [cit. 16.9.2016],
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64518
- [4] Land management: Metoda Laserové skenování, [online] [cit. 28.9.2016]
Dostupné z: <http://www.la-ma.cz/?p=88>
- [5] Prima Bilavčík, s.r.o., Přístroje pro měření a metrologii: Faro laser scanner focus 3D X 330, [online] [cit. 10.1.2017]
Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/faro-focus3d-x330-laser-scanner/>
- [6] Geotronics Praha, [online] [cit. 10.1.2017]
Dostupné z: <http://geotronics.cz/geodezie/3d-laserove-skenovani/trimble-tx8/>
- [7] TKMOST, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci, Vývojové a reverzní inženýrství: Způsoby bezkontaktní digitalizace součástí, [online] [cit. 25.12.2016]
Dostupné z: <http://tkmost.kez.tul.cz/vystupy-projektu/inovace-vyuky-v-oblasti-konstrukce/vyvojove-a-reverzni-inzenyrstvi>
- [8] MCAE, 3D digitální technologie: ATOS Triple Scan [online] [cit. 25.12.2016]
Dostupné z: <http://www.mcae.cz/atos>
- [9] HAVLÍK, Radek: *Bezkontaktní skener Trimble CX*; Prezentace na semináři TVS/TU v Liberci, 22.11.2012

- [10] Skupina ČEZ: Rentgenové záření [online] [cit. 31.12.2016]
Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/fyzika.htm>
- [11] Ultrazvuk. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/203-ultrazvuk>
- [12] PAVELKA, Karel: *Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat*, ČVUT v Praze, Fakulta stavební
- [13] ČÍŽEK, Martin: *Zaměření hradu a vytvoření jeho 3D modelu*, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2011 [online] [cit. 6.1.2017]
Dostupné z: <http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2011/martin-cizek-dp-2011.pdf>
- [14] Mendelova univerzita v Brně, Ústav geoinformačních technologií:
Fotogrammetrie, Základní pojmy, rozdělení, metody a využití [online] [cit. 8.12.2017]. Dostupné z:
<http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie1/fotogrammetrie.pdf>
- [15] Fotogrammetrie, stránky pro fotogrammetrii, ČVUT: Fotogrammetrie_uvod [online] [cit. 11.1.2017]
Dostupné z:
http://lfgm.fsv.cvut.cz/lfgm_old/vyuka/k153fd11/1_Fotogrammetrie_uvod.pdf
- [16] Объёмные мехнологии, Volume Technologies: 3D сканеры ATOM VT и VT MINI [online] [cit.2.12.2017]
Dostupné z: <http://volumetechnologies.ru/products/anons-vt-atom.html>
- [17] Sřední průmyslová škola kamenická a sochařská, Hořice: *Technologie skenování ve 3D* [online] [cit.2.12.2017] Dostupné z:
<http://www.spsks.cz/wp-content/uploads/2016/03/Technologie-skenov%C3%A1n%C3%AD-ve-3D-0.pdf>
- [18] PreXion, make IT visible: Products [online] [cit.2.12.2017] Dostupné z:
<http://www.prexion.com/products-2/>
- [19] Trimble, Transforming the way the world works [online] [cit.4.12.2017] Dostupné z: <http://www.trimble.com/>

[20] Trimble CX 3D Laser Scanner – Datasheet – English [online] [cit.5.12.2017]

Dostupné z: http://kmcgeo.com/Datasheets/3D_Scanner_CX.pdf

[21] BELZOVÁ, Renáta: *Praktická aplikace skenovacího systému Trimble GX*, ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Katedra speciální geodézie, 2010, [online] [cit.4.12.2017],

Dostupné z: <http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2011/renata-belzova-dp-2011.pdf>

[22] Skenování s 3D skenerem, VUT v Brně [online] [cit.6.12.2017] Dostupné z:

<http://www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/ramik/files/Studium/Podklady%20ke%20studiu/3D%20skenov%C3%A1n%C3%AD/E-learning-Skenovani%203D%20skenerem.pdf>

[23] URBANOVÁ, P., JURDA M., ČUTA M.: *Záznam a analýza digitálních dat v antropologii*, 1. vydání, Nové Město nad Metují: Masarykova univerzita, 2015, ISBN 978-80-210-7754-6

7. Seznam obrázků

Obrázek 1 Principy bezkontaktní 3D digitalizace	12
Obrázek 2 Princip laserového skenování	13
Obrázek 3 Faro Focus3D X 330 [5].....	14
Obrázek 4 Trimble TX8 [6].....	14
Obrázek 5 Faro Freestyle ^{3D} [6].....	15
Obrázek 6 Princip optického skenování [7].....	16
Obrázek 8 VT ATOM [16]	17
Obrázek 7 ATOS II Triple Scan [8]	17
Obrázek 9 Rentgenka [10]	18
Obrázek 10 Pre PreXion3D Excelsior CBCT Scanner [17].....	19
Obrázek 11-Příklad fotogrammetrie [15].....	21
Obrázek 12 Trimble ZX5 Hexakoptéra [6]	21
Obrázek 13 Trimble UX5 [6]	21
Obrázek 14 Vlíčovací koule [6]	25
Obrázek 15 Deskové terče [6]	25
Obrázek 16 Přednášková část skenovacího dne [Geotronics property].....	27
Obrázek 17 Přednášková část Skenovacího dne [Geotronics property]	27
Obrázek 18 Ukázková část skenovacího dne [Geotronics property]	28
Obrázek 19 Ukázková část skenovacího dne [Geotronics property]	28
Obrázek 20 Sken Tančícího domu [Geotronics property].....	28
Obrázek 21 Kostel-mračno bodů ze statického skeneru [Geotronics property]	29
Obrázek 22 Kostel-mračno bodů z drona [Geotronics property].....	29
Obrázek 23 Kostel-sjednocená data [Geotronics property]	29
Obrázek 24 Popis skeneru Trimble CX [9]	30
Obrázek 25 Příslušenství skeneru.....	30
Obrázek 26 Zapojení do zdroje	32
Obrázek 27 Nivelace	32
Obrázek 28 Slepý úhel pod skenerem [9].....	33
Obrázek 29 Trimble Access Spatial Imaging	33

Obrázek 30 Skenování.....	34
Obrázek 31 Nastavení parametrů.....	34
Obrázek 32 Výběr módu v TRW	35
Obrázek 33 Načtená mračna bodů (1)	36
Obrázek 34 Načtená mračna bodů (2)	36
Obrázek 35 Očištění mračna bodů	37
Obrázek 37 Distance measure.....	38
Obrázek 36 Registrované a očištěné mračno bodů.....	38
Obrázek 38 Vektorizace v SW SolidWorks	39